

일사량 변화를 고려한 개선된 MPPT 알고리즘

The Improved Maximum Power Point Tracking Algorithm under varying of irradiance

이귀한* · 정영석** · 이윤섭***, 차한주*† · 고석환**†

Lee Gwui-Han*, Jung Young-Seok**, Lee Youn-Seop***, Cha Han-Ju*† and
KO Suk-Whan**†

(Received 07 October 2015; accepted 04 December 2015)

Abstract : The MPPT(Maximum Power Point Tracking) techniques are employed in photovoltaic (PV) systems to maximize the PV array output power which depends on solar irradiance and temperature. The dynamic MPPT performance under varying irradiance conditions affects the impact on overall PV system performance. This paper presents the improved MPPT algorithm by the simulation comparison with other algorithms. The simulation models are made by the Matlab & Simulink. The result of simulation, the dynamic MPPT efficiency of proposed algorithm is higher than the other algorithms.

Key Words : 최대출력점추종(Maximum power point tracking), 태양광시스템(Photovoltaic system), 알고리즘(algorithm)

1. 서 론

화석연료의 점진적인 고갈로 신재생에너지

에 대한 관심과 보급이 확대되면서 태양광발전 시스템이 전 세계적으로 설치되어 운영되고 있다. 최근 시스템 비용절감 방안과 효율 향상

*† 차한주(교신저자) : 충남대학교 전기공학과
E-mail : hjcha@cnu.ac.kr, Tel : 042-821-7006

**† 고석환(교신저자) : 한국에너지기술연구원 태양광연구소
E-mail : korea19@kier.re.kr, Tel : 042-860-3282

*이귀한 : 충남대학교 전기공학과, 한국에너지기술연구원 태양광연구소

**정영석 : 한국에너지기술연구원 태양광연구소

***이윤섭 : 공주대학교 전기전자제어공학과

*† Cha Han-Ju(corresponding author) : Department of Electrical Engineering, Chungnam National University.

E-mail : hjcha@cnu.ac.kr, Tel : 042-821-7006

**† Ko Suk-Whan(corresponding author) : Photovoltaic Laboratory, Korea Institute of Energy Research.

E-mail : korea19@kier.re.kr, Tel : 042-860-3282

*Lee Gwui-Han : Department of Electrical Engineering, Chungnam National University, Photovoltaic Laboratory, Korea Institute of Energy Research.

**Jung Young-Seok : Photovoltaic Laboratory, Korea Institute of Energy Research.

***Lee Youn-Seop : Department of Electrical · Electronic · Control Engineering, Gongju National University

연구가 활발히 진행되고 있으며, 소비자 측면에서 발전효율 향상과 안정적인 운영에 대한 관심이 높아지고 있다^{1) 2)} 태양광발전시스템은 광전효과를 이용한 태양전지와 태양광 인버터가 주요 구성품이다. 이 중 태양전지는 비선형적 출력 특성을 가지고 있으며, 온도와 일사량 등 주위 환경에 따라 출력량이 변하고 특정 전압에서 최대출력점(MPP: Maximum Power Point)을 가진다. 따라서 태양광 인버터는 높은 변환효율을 얻기 위해 항상 MPP점에서 발전할 수 있도록 최대출력점추종(MPPT: Maximum Power Point)을 하며, MPPT 알고리즘 효율은 태양광시스템의 성능을 평가하는 중요한 지표로 사용되고 있다. 국내 태양광발전시스템 효율측정은 일사량이 고정된 상태에서 측정한다. 하지만 실제로 태양광발전시스템은 설치장소의 환경조건에 따라 일사량이 변화하므로 고정된 일사량 조건이 아닌 변화하는 일사량 조건에서 효율을 측정하여야 한다. 현재 유럽 선진국에서는ダイナ믹 환경에서 MPPT 성능측정 시험방법을 운용 중에 있다. 본 논문은 계통연계형 인버터의 다이내믹 MPPT 효율 시험조건인 EN50530의 기준에 따라 MPPT 알고리즘의 효율 시뮬레이션을 수행하고, 개선된 MPPT 알고리즘을 제안한다.

2. EN50530 시험 기준

EN50530 시험 기준의 다이내믹 MPPT 효율 시험은 일사량 변동 상태의 MPPT 효율을 평가한다.³⁾ 시험 환경조건은 표준시험조건(STC : Standard Test condition)의 일사량 조건인 1,000 W/m²을 제외한 대기 질량 정수(AM) 1.5, 기준 온도 25 °C 조건에서 시험한다.^{1) 2)} Table 1 과 2는 EN50530에서 제공하는 다이내믹 MPPT 효율시험의 일사량 프로파일이다.

Fig. 1과 2는 프로파일의 동작을 나타내며 t₁은 상승시간, t₂는 일사량 유지시간, t₃은 하강시간, t₄는 하강 후상태의 일사량 유지시간을 나타낸다.

Table 1 Dynamic MPPT(Insolation range : 30 - 100 %)

From-to W/m ²	Delta W/m ²					Waiting time setting s
300-1 000	700					300
# Number	Slope W/m ² /s	Ramp UP s	Dwell time s	Ramp DN s	Dwell time s	Duration s
10	10	70	10	70	10	1 900
10	14	50	10	50	10	1 500
10	20	35	10	35	10	1 200
10	30	23	10	23	10	967
10	50	14	10	14	10	780
10	100	7	10	7	10	640

Table 2 Dynamic MPPT(Insolation range : 10 - 50 %)

From-to W/m ²	Delta W/m ²					Waiting time setting s
100-500	400					300
# Number	Slope W/m ² /s	Ramp UP s	Dwell time s	Ramp DN s	Dwell time s	Duration s
2	0,5	800	10	800	10	3 540
2	1	400	10	400	10	1 940
3	2	200	10	200	10	1 560
4	3	133	10	133	10	1 447
6	5	80	10	80	10	1 380
8	7	57	10	57	10	1 374
10	10	40	10	40	10	1 300
10	14	29	10	29	10	1 071
10	20	20	10	20	10	900
10	30	13	10	13	10	767
10	50	8	10	8	10	660

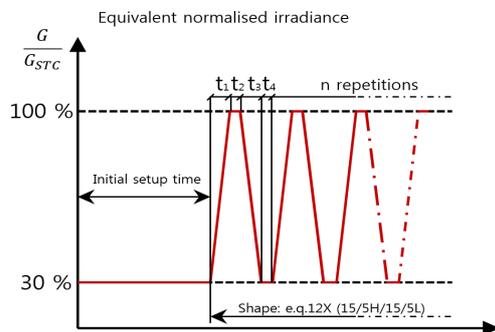


Fig. 1 Test sequence for variation between medium and high insolation

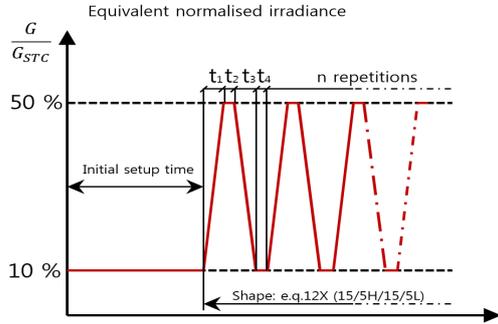


Fig. 2 Test sequence for variation between small and medium insolation

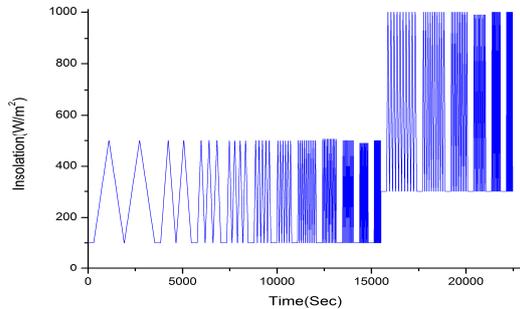


Fig. 3 The dynamic test insolation profile

Fig. 3은 EN50530 기준에 따른 전체 MPPT 효율 시험 프로파일이다. Dynamic MPPT 효율은 태양광 시뮬레이터에서 나올 수 있는 이상적인 최대전력량에 대해서 실제 발전되는 인버터에 입력으로 들어가는 전력량의 비로 식(1)과 같이 정의 된다.

$$\eta_{MPPThm} = \frac{1}{\sum_j P_{MPP,PVS,j}} \cdot \sum_i V_{DC,i} \cdot I_{DC,i} \cdot \Delta T_i \quad (1)$$

여기서,

$P_{mpp, PVS}$: 태양광 어레이 시뮬레이터 최대 출력전력

$V_{dc,i}$: 태양광 인버터 입력 전압

$I_{dc,i}$: 태양광 인버터 입력 전류

ΔT_j : 태양광 어레이 시뮬레이터 최대전이 제

공되는 시간

ΔT_i : 태양광 인버터 입력 전압과 입력 전류 샘플링 시간

3. MPPT 알고리즘

3.1 P&O 알고리즘

P&O(Perturbation and Observation) 알고리즘은 아날로그 혹은 디지털로 구현이 가능하며, 간단한 피드백 구조를 가지고 있어서 가장 많이 사용되는 MPPT 알고리즘이다.^{4) 5)} Fig. 4의 순서도와 같이 현재 동작점의 전압, 전력을 이전 동작점의 전압, 전력과 비교하여 가변전압을 증가 또는 감소시켜 추종하는 알고리즘이다. Fig. 5는 P-V 특성곡선에서의 P&O 알고리즘의 동작을 나타내고, Table 3은 P&O 알고리즘의 동작특성을 나타낸다.

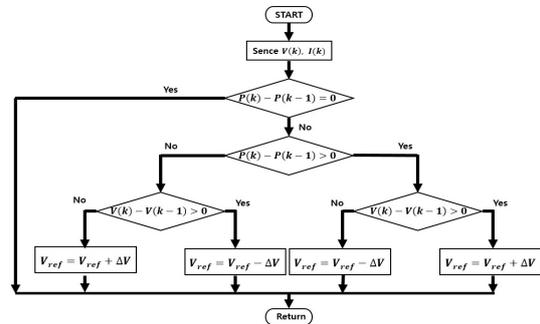


Fig. 4 The flowchart of P&O MPPT

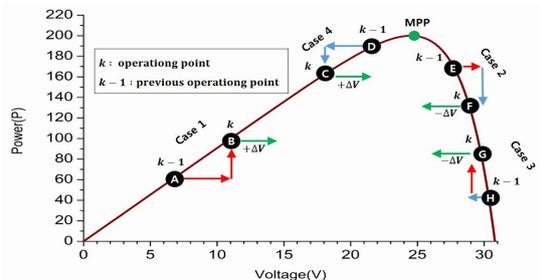


Fig. 5 The characteristic of P&O MPPT

Table 3 The characteristic of P&O MPPT

case	voltage state	power state	result
1	$V(k) > V(k-1)$ $A \rightarrow B$	$P(k) > P(k-1)$	$+\Delta V$
2	$V(k) > V(k-1)$ $E \rightarrow F$	$P(k) < P(k-1)$	$-\Delta V$
3	$V(k) < V(k-1)$ $G \rightarrow H$	$P(k) > P(k-1)$	$-\Delta V$
4	$V(k) < V(k-1)$ $C \rightarrow D$	$P(k) < P(k-1)$	$+\Delta V$

3.2 제안하는 알고리즘

Fig 6은 일사량이 증가될 때의 P-V 곡선을 나타낸다. 초기의 MPPT 동작점이 ❶의 위치라고 가정한다. MPPT 동작점을 찾기 위해 기존 P&O 알고리즘은 ❶에서 ❷의 위치로 변경될 것이다. 이때, 일사량이 증가될 경우 기존 P&O 알고리즘은 전압을 낮추었을 때, 전력이 증가하면 계속하여 전압을 낮추는 알고리즘이다. 이에 따라 일사량이 정지할 때까지 지속적으로 전압을 낮춰 Fig 6에 ❸ 위치로 이동하여 MPPT 방향과 반대 방향으로 추종하는 단점을 가지고 있다. 즉 P&O 알고리즘은 EN50530의 기준에 따른 다이내믹 MPPT 상황에서 일사량이 지속적으로 증가 또는 감소하는 상황에서 MPPT 추종을 잘못하여 효율 감소의 원인이 된다.

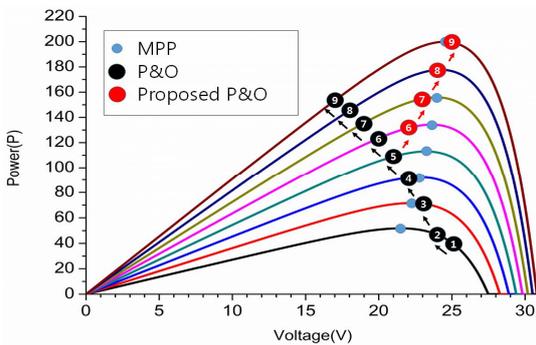


Fig. 6 P-V characteristics Curve for algorithms under increasing insolation

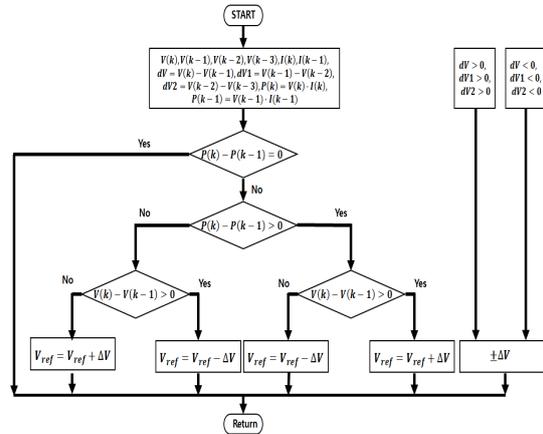


Fig. 7 The proposed P&O MPPT Algorithm

제안하는 알고리즘은 기존 P&O 알고리즘의 현재 동작점과 이전 동작점을 비교하는 방식이 아닌, 4주기의 전압과 전력 값을 이용하여 비교하는 방식이다. 가변전압이 4주기 이상 연속 증가 또는 감소하면 MPPT 전압 추종방향을 반대방향으로 이동시켜 급변일사량에 대한 추종방향이 맞는지 재확인한다. 가변전압이 4주기 이상 증가 또는 감소하지 않으면 재확인을 하지 않는다. Fig. 7은 제안하는 알고리즘의 순서도이다.

4. 시스템 모델링

태양전지 모듈의 모델링은 EN50530 부속서 C의 다이오드 모델을 사용하여 Matlab & simulink로 구현하였다. Table 4는 표준시험 조건으로 모델링한 모듈의 특성데이터이며, Fig. 8과 9는 일사량 변동에 따른 모델링한 태양전지모듈의 출력 특성 그래프를 나타낸다. 시스템 모델링은 이산시스템으로 모델링 하였으며) Fig. 10과 Fig. 11은 알고리즘의 시스템 모델링을 나타낸다.

Table 4 The static Characteristics of solar module

최대 전력 (P_{max})	250 W
MPP 전압 (V_{mp})	30.30 V
MPP 전류 (I_{mp})	8.27 A
단락 전류 (I_{sc})	8.91 A
개방 전압 (V_{oc})	37.60 V

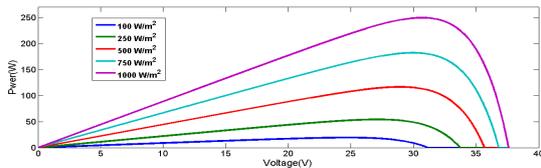


Fig. 8 P-V characteristics curve of PV in accordance with insolation

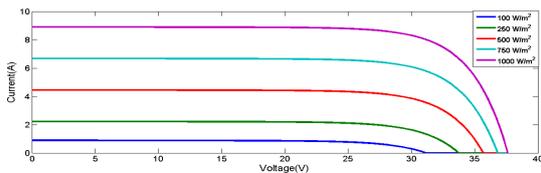


Fig. 9 I-V characteristics curve of PV in accordance with insolation

5. 시뮬레이션 결과 및 고찰

5.1 P&O 와 제안 알고리즘의 전압추종 비교

일반적인 상용 태양광인버터의 MPPT 제어 주기는 0.5초에서 3초까지 다양하게 사용된다.

본 시뮬레이션은 P&O 알고리즘과 제안하는 알고리즘에 대해서 제어주기별 MPPT 효율에 관하여 분석을 실시하였다. Fig. 12는 기존 P&O 알고리즘과 제안하는 개선된 P&O 알고리즘의 MPPT 전압 시뮬레이션 그래프이다. Fig. 13은 Fig. 12의 일부 (A)구간을 상세히 나타내고 있다. 급변하는 일사량 구간 즉 Fig. 6의 경우와 같이 지속적으로 일사량이 증가하는 구간에서 P&O 알고리즘은 MPPT 방향을 잘못 추종해 반대방향으로 동작점이 이동하였고, 제안하는 알고리즘은 제어주기가 0.1초일 때, 시간지연이 발생되지만 이상적인 전압방향과 같은 방향으로 동작점이 이동되는 것을 확인할 수가 있다. 제어주기가 0.1초보다 더 빠를 경우 제안 알고리즘은 이상적인 전압과 동일한 MPPT 동작점을 가질 것이다. 시뮬레이션에 있어 MPPT 제어주기는 상용 인버터의 일반적인 제어주기에 대해서만 시뮬레이션을 수행하였다.

5.2 제어주기별 특성 분석

P&O 알고리즘의 경우 Fig. 13과 같이 일사량이 지속적으로 상승 또는 감소하는 구간에서 제어주기가 빠른 경우 전압의 방향추종이 잘못되어 제어주기가 느린 경우보다 MPPT 효율이 떨어지는 경우가 발생한다.

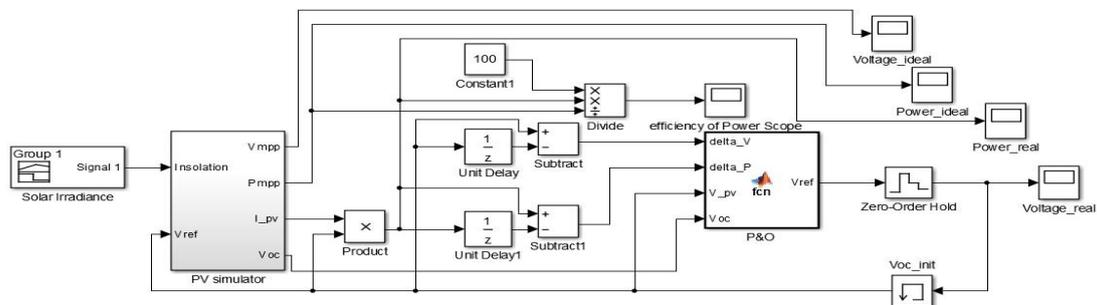


Fig. 10 The P&O MPPT model

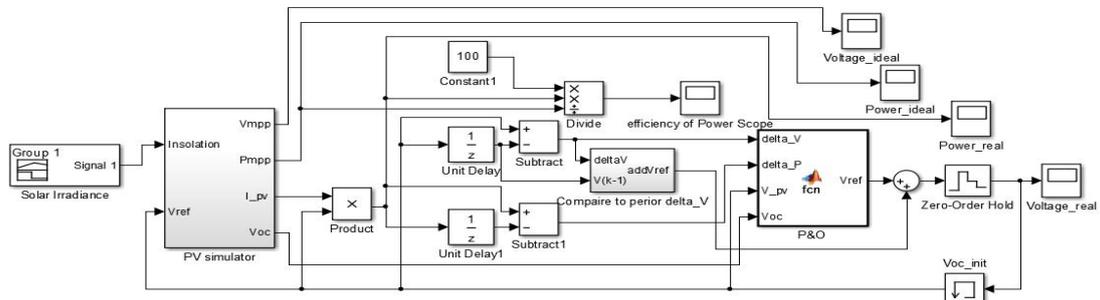


Fig. 11 The proposed P&O MPPT model

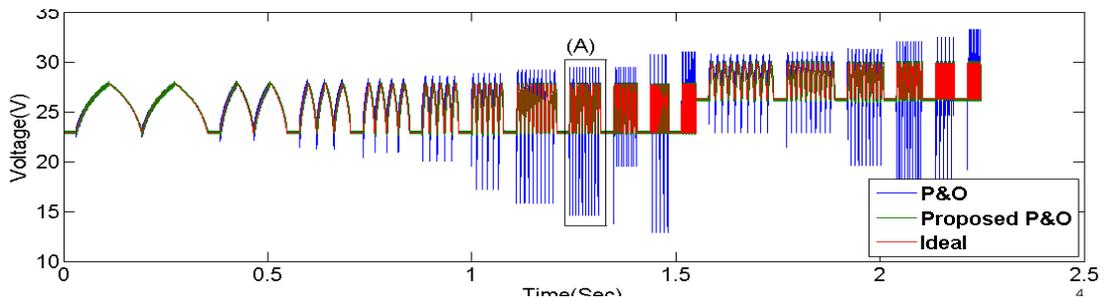


Fig. 12 The result of simulation for Algorithms (Control Period : 0.1 Sec)

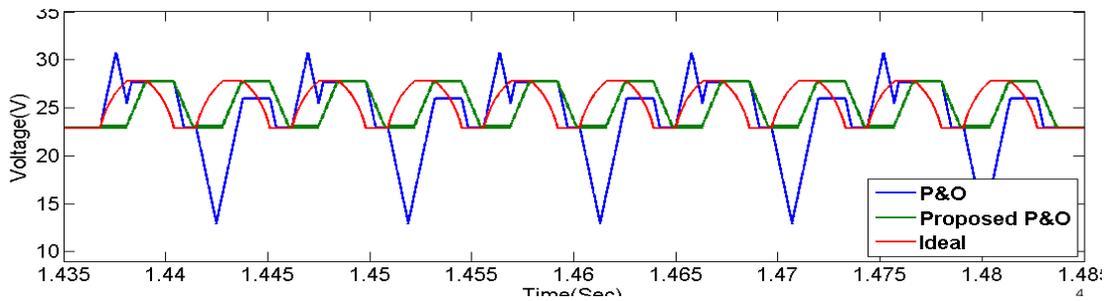


Fig. 13 The detailed graph about Fig. 12 (A)

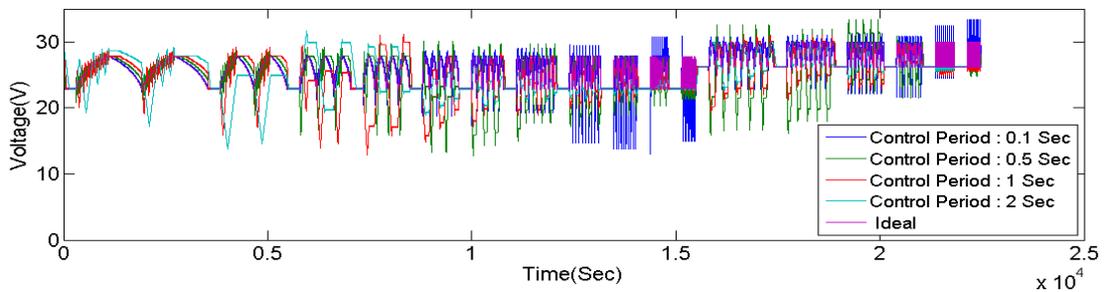


Fig. 14 The result of simulation in accordance with control period by P&O Algorithm.

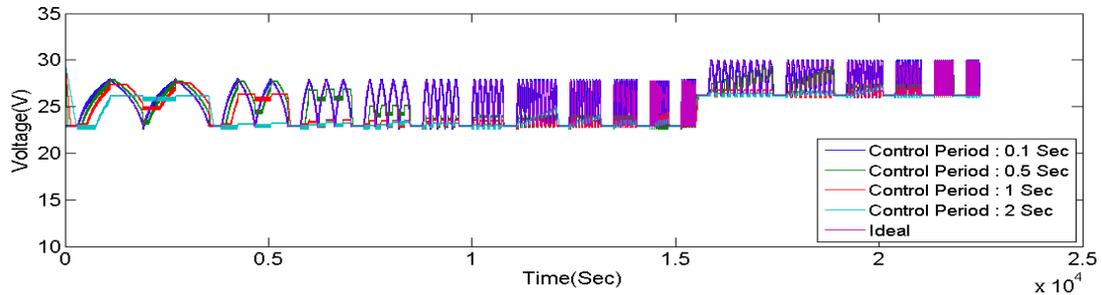


Fig. 15 The result of simulation in accordance with control period by Proposed P&O Algorithm.

이러한 경우 기존 P&O 알고리즘에서는 지속적으로 MPP 방향 오동작에 따른 확인 검증이 이뤄지지 않아 발생하는 현상이다. Fig. 14는 개선된 P&O 제안 알고리즘에 대한 제어주기 별 시뮬레이션 결과이다. 기존 알고리즘과 비교하였을 때, 제어주기가 빠를수록 MPP 전압추종이 잘되는 것을 확인할 수가 있었다. Table 5는 제어주기에 따른 MPPT 알고리즘 효율을 나타낸다. 제어주기에 따라 다르지만 다이내믹 일사량 변동 조건에서 제안된 알고리즘이 0.4 ~ 2.4% 높은 효율을 갖는다는 것을 확인하였다.

Table 5 MPPT efficiency for control period

제어주기 (Sec)	MPPT 효율	
	P&O	제안 알고리즘
0.1	98.58	99.00
0.5	95.15	98.61
1	95.07	98.02
2	95.23	97.65

6. 결 론

본 연구는 EN 50530 다이내믹 MPPT 효율 시험 기준요건에 따라 기존의 P&O 알고리즘

대한 시뮬레이션을 수행·분석하였다. 기존 P&O 알고리즘의 문제점인 지속적인 일사량 증가 또는 감소 시 MPP 방향 추종 오류를 개선하기 위해 MPP 동작점이 연속적으로 4점 이상 전압의 증가 또는 감소 시에 반대 방향으로 검사하는 과정을 거쳐 기존 P&O MPPT 알고리즘의 문제점을 개선하였다. 이에 대한 결과를 고찰한 결과는 다음과 같다.

- (1) 일사량이 지속적으로 증가 또는 감소하는 다이내믹 MPP 상황에서 기존 P&O 알고리즘은 MPP 방향을 추종하지 못해 효율이 감소되는 경우가 발생하였으며, 다이내믹 MPP 상황에서 제어주기가 느린 경우보다 효율이 저하되는 경우가 발생하였다.
- (2) 제안하는 알고리즘은 MPPT 방향성을 확인함으로 제어주기별로 차이는 있지만 기존 P&O 알고리즘보다 제안된 알고리즘의 효율이 0.42~2.42% 이상 높아지는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원의 주요사업(No.1711006078)과 2015년도 산업통상자원부 재원으로 한국에너지기술평가원 지원을 받아 수행한 과제(No.20153010011980)의 결과입니다.

Reference

1. byunggyu Yu, Gwonjong Yu, Youngroc Kim, Design and experimental results of improved dynamic MPPT performance by EN50530, 2011 IEEE 33rd international 9-13 Oct.
2. Ko Suk-Whan, Jung Yong-Seok, So Jung-Hun, Hwang Hye-mi, Ju Young-Chul, The New MPPT Algorihm for the Dynamic MPPT Efficiocy, journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 34, No. 6, 2014
3. Overall efficiency of grid connected photovoltaic inverters, BS EN 50530:2010
4. Nur Mohammad1, Muhammad Quamruzzaman, Mohammad Rubaiyat Tanvir Hossain, Mohammad Rafiqul Alam, Parasitic Effects on the Performance of DC-DC SEPIC in Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Applications, Smart Grid and Renewable Energy Vol. 4 No.1 (2013), Article
5. Mohanmed A. Eltawil, Zhengming Zhao, MPPT techniques for photovoltaic applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol 25. pp 793-813, 2013
6. Volker Quaschnig, "Simulation der Abschatt ungsverluste bei solarelektrischen System", Dissertation Technische Universitat Berlin, 1996